Principiul incertitudinii al lui Heisenberg

În mecanica cuantică, chiar şi rezultatul unei măsurători a unui sistem nu este determinist, ci este caracterizat printr-o distribuţie de probabilitate, în care cu cât este mai mare deviaţia standard, cu atât mai multă "incertitudine" se va putea spune că respectiva caracteristică este pentru acel sistem. **Principiul incertitudinii al lui Heisenberg** dă o limită inferioară asupra produsului deviaţiilor standard ale poziţiei şi impulsului unui sistem, specificând că este imposibil să avem o particulă cu un impuls şi o poziţie arbitrar de bine definite simultan. Mai precis, produsul deviaţiilor standard $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$, unde $\hbar$ este Constanta Planck redusă. Principiul poate fi generalizat la multe alte perechi de cantităţi, afară de poziţie şi impuls (de exemplu, impulsul unghiular pe două axe de coordonate diferite), şi poate fi derivat direct din axiomele mecanicii cuantice.

De observat că incertitudinile în chestiune sunt caracteristice ale cantităţilor mecanice. În orice măsurare din lumea reală, vor fi incertitudini *adiţionale* create de procesul de măsurare care nu este nici perfect, nici ideal. Principiul incertitudinii este valabil chiar dacă măsurătorile sunt ideale (aşa numite măsurători von Neumann) sau neideale (măsurători Landau). De observat că şi produsul incertitudinilor, de ordinul 10^{-35} Joule-secundă, este atât de mic încât principiul incertitudinii are efect neglijabil la scară macroscopică, în ciuda importanţei pe care o are la nivel atomic sau subatomic.

Principiul incertitudinii a fost un pas important în dezvoltarea mecanicii cuantice când a fost descoperit de Werner Heisenberg în 1927. Este adesea confundat cu efectul de observator.

Cuprins

[ascunde]

1 Dualitatea undă-particulă
2 Principiul incertitudinii versus efectul de observator
3 Generalizarea, formularea exactă şi relaţia Robertson-Schrödinger
3.1 Alte forme ale principiului incertitudinii
3.2 Principiul incertitudinii energie-timp
4 Demonstraţie
5 Istorie şi interpretări
6 Cultura populară
7 Note
8 Bibliografie
9 Legături externe

Dualitatea undă-particulă

Pentru detalii, vezi: Dualitatea undă-particulă.

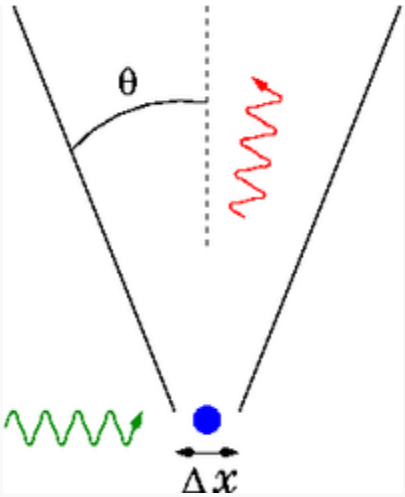
Werner Heisenberg

Un postulat fundamental al mecanicii cuantice, care se manifestă în principiul incertitudinii al lui Heisenberg, este acela că nici un fenomen fizic nu poate fi descris (cu precizie arbitrară) ca "particulă punctiformă clasică" sau ca undă ci mai degrabă realitatea este modelată folosinddualitatea undă-particulă.

Principiul incertitudinii al lui Heisenberg este o consecinţă a acestui fapt. Amplitudinea undei asociate cu o particulă corespunde poziţiei ei, iar lungimea de undă (mai exact, Transformata Fourier a acesteia) este invers proporţională cu impulsul. Pentru a localiza unda astfel încât ea să aibă un maxim îngust (adică o incertitudine a poziţiei mică), este necesar să fie incorporate unde cu lungime foarte mică, corespunzătoare unor impulsuri mari după toate direcţiile, şi astfel o incertitudine mare a impulsului. Într-adevăr, Principiul lui Heisenberg este echivalent cu o teoremă din analiza funcţională care spune că deviaţia standard a valorii absolute la pătrat a unei funcţii, înmulţită cu deviaţia standard a valorii absolute a transformatei sale Fourier, este cel puţin $1/(16\pi^2)$ (Folland şi Sitaram, Teorema 1.1).

O analogie utilă poate fi făcută între unda asociată unei particule din mecanica cuantică şi o undă mai bine cunoscută, semnalul variabil în timp asociat cu o undă sonoră. Nu are sens întrebarea privind spectrul de frecvenţă la un anumit moment din timp, deoarece măsurarea frecvenţei este măsura unei repetiţii într-o perioadă de timp. Într-adevăr, pentru ca un semnal să aibă o frecvenţă relativ bine definită, trebuie ca el să persiste o perioadă lungă de timp, şi similar, un semnal care are loc la un moment de timp bine definit (adică e de scurtă durată) va conţine obligatoriu o bandă de frecvenţe largă. Adică, într-adevăr, este o analogie matematică apropiată de Principiul Incertitudinii al lui Heisenberg.

Principiul incertitudinii versus efectul de observator



Microscopul cu raze gamma al lui Heisenberg, pentru localizarea unui electron (arătat cu albastru). Raza gamma (arătată cu verde) este reflectată de electron sub unghiul de deschidere al microscopului θ. Raza reflectată este arătată cu roşu. Opticaclasică araţ că poziţia electronului poate fi determinată doar cu o incertitudine Δx care depinde de θ şi de lungimea de undă λ a luminii.

Principiul incertitudinii din mecanica cuantică este uneori eronat explicat prin afirmaţia că măsurarea poziţiei obligatoriu modifică impulsul unei particule, şi vice versa—adică se spune că principiul incertitudinii este o manifestare a efectului de observator. Într-adevăr, Heisenberg însuşi iniţial a dat explicaţii care au sugerat această vedere. Înaintea unor interpretări mai moderne, o măsurare era adesea vizualizată ca o denaturare fizică aplicată direct asupra sistemului măsurat, fiind uneori ilustrată sub forma unui experiment imaginar numit Microscopul lui Heisenberg. De exemplu, la măsurarea poziţiei unui electron, ne închipuim luminarea electronului, şi astfel intervenirea asupra lui şi producerea incertitudinilor cuantice asupra poziţiei sale.

Paradoxul EPR indică faptul că este greşit ca principiul incertitudinii să fie văzut ca o măsurare care afectează direct o particulă. Acest "paradox" arată că o măsurătoare poate fi efectuată asupra unei particule fără a o afecta direct, prin măsurarea unei particule asociată acesteia şi aflată la distanţă.

O altă problemă cu această vedere este aceea că induce o percepţie greşită asupra măsurării din mecanica cuantică. Pentru a testa principiul incertitudinii, un fizician ipotetic ar folosi o anume procedură de mai multe ori pentru a pregăti un ansamblu de particule aflate în aceeaşi stare cuantică. Pentru jumătate din acest ansamblu, ar măsura poziţia, dând o distribuţie de probabilitate pentru poziţie. Pentru cealaltă jumătate a ansamblului, ar măsura impulsul, dând o distribuţie de probabilitate pentru impuls. În cele din urmă, s-ar calcula produsul deviaţiilor standard ale celor distribuţii, rezultând o valoare de cel puţin $\hbar/2$.

În această situaţie, poziţia şi impulsul nu se vor putea niciodată măsura de mai multe ori pentru aceeaşi particulă. (Dacă s-ar putea, atunci rezultatul celei de-a doua măsurători nu vor reflecta starea originală, datorită aplicării corecte a efectului de observator.) De aceea, o măsurare nu o poate afecta pe cealaltă. Mai mult, deşi fiecare măsurare prăbuşeşte starea cuantică a particulei, distribuţia de probabilitate rezultată din aceste măsurători va reflecta corect starea cuantică aşa cum exista ea înaintea măsurătorii.

În orice caz, este acum înţeles că incertitudinile din cadrul unui sistem există înainte şi independent de măsurătoare, iar principiul incertitudinii este astfel independent de efectul de observator.

Generalizarea, formularea exactă şi relaţia Robertson-Schrödinger

Măsurările poziţiei şi impulsului efectuate pe copii identice ale unui sistem aflat într-o stare dată vor varia fiecare conform unei distribuţii de probabilitate caracteristică stării sistemului. Aceasta este postulatul fundamental al mecanicii cuantice.

Dacă vom calcula deviaţiile standard Δx şi Δp ale măsurării poziţiei, respectiv impulsului, atunci

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

unde

$\hbar$(h-bar) este Constanta Planck redusă (Constanta lui Planck împărţită la 2π).

Mai general, dat fiind orice operatori Hermitici *A* şi *B*, şi un sistem în starea ψ, există distribuţii de probabilitate asociate cu măsurarea lui *A* şi a lui *B*, dând deviaţiile standard $\Delta_\psi A$ and $\Delta_\psi B$. Then

$$\Delta_\psi A \, \Delta_\psi B \geq \frac{1}{2} \left| \langle [A, B] \rangle_\psi \right|$$

unde operatorul [*A*,*B*] = *AB* - *BA* reprezintă comutatorul lui *A* şi *B*, iar $\langle X \rangle_\psi$ reprezintă valoarea aşteptată. Această inegalitate se numeşterelaţia Robertson-Schrödinger, şi include Principiul Incertitudinii al lui Heisenberg drept caz particular. A fost arătată pentru prima oară în 1930de Howard Percy Robertson şi (independent) de Erwin Schrödinger.

Alte forme ale principiului incertitudinii

Datorită relaţiei Robertson-Schrödinger de mai sus, o relaţie de incertitudine apare între *oricare* două cantităţi observabile care pot fi definite prin operatori care nu comută. Următoarele sunt câteva exemple:

- Există o relaţie de incertitudine între poziţia şi impulsul unui obiect:
  $\Delta x_i \Delta p_i \geq \frac{\hbar}{2}$
- între poziţia unghiulară şi momentul cinetic:
  $\Delta \Theta_i \Delta J_i \geq \frac{\hbar}{2}$
- între două componente ortogonale ale operatorului moment cinetic total al unui obiect:
  $\Delta J_i \Delta J_j \geq \frac{\hbar}{2} \left| \langle J_k \rangle \right|$
  unde *i*, *j*, *k* sunt distincte şi J_i reprezintă componenta momentului cinetic după axa x_i.
- între numărul de electroni dintr-un superconductor şi faza parametrului de ordine Ginzburg-Landau:
  $\Delta N \Delta \phi \geq 1$

Principiul incertitudinii energie-timp

Spre deosebire de exemplele de mai sus, unele principii de incertitudine nu sunt consecinţe directe ale relaţiei Robertson-Schrödinger. Cel mai cunoscut dintre acestea este principiul incertitudinii energie-timp.

Aplicând ideile relativităţii restrânse asupra principiuluii incertitudinii poziţie-impuls, mulţi fizicieni, cum ar fi Niels Bohr, au postulat că ar trebui să existe următoarea relaţie:

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2},$$

dar nu a fost imediat evident cum ar trebui definit Δt (deoarece timpul nu este tratat ca operator). În 1926, Dirac a oferit o definiţie clară şi o demonstraţie a acestui principiu de incertitudine, ca rezultând dintr-o teorie cuantică relativistă a "evenimentelor". Dar cea mai bine cunoscută, mai des folosită şi corectă formulare a fost dată abia în 1945 de către L. I. Mandelshtam şi I. E. Tamm, după cum urmează. Pentru un sistem cuantic aflat într-o stare nestaţionară $|\psi\rangle$ şi o observabilă B reprezentată de un operator autoadjunct $\hat{B}$, este valabilă următoarea formulă:

$$\Delta_\psi E \frac{\Delta_\psi B}{\left|\frac{\mathrm{d}\langle \hat{B} \rangle}{\mathrm{d}t}\right|} \geq \frac{\hbar}{2},$$

unde $\Delta_\psi E$ este deviaţia standard a operatorului energie în starea $|\psi\rangle$, $\Delta_\psi B$ reprezintă deviaţia standard a operatorului $\hat{B}$ şi $\langle \hat{B} \rangle$ este valoarea aşteptată a lui $\hat{B}$ în acea stare. Deşi al doilea factor din partea stângă are dimensiune de timp, el este diferit de parametrul timp din Ecuaţia Schrödinger. Este un timp de viaţă a stării $|\psi\rangle$ faţă de observabila B. Cu alte cuvinte, acesta este timpul după care valoarea aşteptată $\langle \hat{B} \rangle$ se schimbă apreciabil.

Principiul incertitudinii energie-timp are implicaţii mari în spectroscopie. Deoarece stările excitate au un timp de viaţă finit, nu toate eliberează aceeaşi cantitate de energie când degenerează; vârfurile spectroscopice sunt de fapt maxime cu lăţime finită (numite *lăţime naturală*), cu centrul în dreptul energiei reale a stării excitate. Pentru stările care degenerează rapid, lăţimea face dificilă măsurarea precisă a acestei energii reale, şi într-

adevăr, cercetătorii au folosit cavităţi de microunde pentru a încetini rata de degenerare, pentru a obţine maxime mai abrupte şi măsurări mai precise ale energiei (Gabrielse and Dehmelt 1985).

O formulare *falsă* deosebit de răspândită a principiului incertitudinii energie-timp spune că energia unui sistem cuantic măsurată în intervalul de timp Δt trebuie să fie imprecisă, cu imprecizia ΔE dată de inegalitatea $\Delta E \Delta t \geq \hbar/2$. Această formulare a fost explicit infirmată de Y. Aharonov şi D. Bohm în 1961. Într-adevăr, se poate determina energia exactă a unui sistem cuantic într-un interval de timp arbitrar de scurt. Mai mult, după cum arată unele cercetări recente, pentru sisteme cuantice cu spectre discrete de energie, produsul $\Delta E \Delta t$ este limitat superior de un zgomot statistic care dispare dacă sunt folosite suficient de multe copii identice ale sistemului. Această limită superioară care dispare elimină în mod cert posibilitatea unei limite inferioare, contrazicând din nou această falsă formulare a principiului incertitudinii energie-timp.

Demonstrație

Principiul incertitudinii are o demonstraţie matematică simplă. Pasul cheie este aplicarea inegalităţii Cauchy-Schwarz, una din cele mai utile teoreme din algebra liniară.

Pentru doi operatori hermitici arbitrari A: $H \to H$ şi B: $H \to H$, şi orice element x din H, atunci

$$\langle BAx|x\rangle = \langle Ax|Bx\rangle = \langle Bx|Ax\rangle^*$$

Într-un spaţiu cu produs scalar, este valabilă inegalitatea Cauchy-Schwarz.

$$|\langle Bx|Ax\rangle|^2 \leq \|Ax\|^2\|Bx\|^2$$

Rearanjând această formulă obţinem:

$$\begin{aligned}\|Ax\|^2\|Bx\|^2 \geq |\langle Bx|Ax\rangle|^2 &\geq |\operatorname{Im}\{\langle Bx|Ax\rangle\}|^2 \\ &= \frac{1}{4}\,|2\operatorname{Im}\{\langle Bx|Ax\rangle\}|^2 \\ &= \frac{1}{4}\,|\langle Bx|Ax\rangle - \langle Bx|Ax\rangle^*|^2 \\ &= \frac{1}{4}\,|\langle Bx|Ax\rangle - \langle Ax|Bx\rangle|^2 \\ &= \frac{1}{4}\,|\langle ABx|x\rangle - \langle BAx|x\rangle|^2 \\ &= \frac{1}{4}|\langle (AB-BA)x|x\rangle|^2\end{aligned}$$

Aceasta dă o formă a relaţiei Robertson-Schrödinger:

$$\frac{1}{4}|\langle [A,B]x|x\rangle|^2 \leq \|Ax\|^2\|Bx\|^2,$$

unde operatorul $[A,B] = AB - BA$ reprezintă comutatorul lui A şi B.

Pentru a lămuri înţelesul fizic al acestei inegalităţi, ea este adesea scrisă în forma:

$$\Delta_\psi A\,\Delta_\psi B \geq \frac{1}{2}\left|\langle [A,B]\rangle_\psi\right|$$

unde

$$\langle X\rangle_\psi = \langle \psi|X\psi\rangle$$

este operatorul medie al observabilei *X* în starea sistemului ψ şi

$$\Delta_\psi X = \sqrt{\langle X^2 \rangle_\psi - \langle X \rangle_\psi^2}$$

este operatorul deviaţie standard al observabilei *X* în starea sistemului ψ. Această formulare se poate deduce din formularea de mai sus înlocuind *A* cu $A - \langle A \rangle_\psi$ şi *B* cu $B - \langle B \rangle_\psi$, şi folosind faptul că

$$[A, B] = [A - \langle A \rangle, B - \langle B \rangle].$$

Această formulare îşi obţine interpretarea fizică indicată de terminologia sugestivă "medie" şi "deviaţie standard", datorită proprietăţilormăsurării în mecanica cuantică. Relaţii de incertitudine particulare, cum ar fi poziţie-impuls, pot fi de regulă deduse printr-o aplicare imediată a acestei inegalităţi.

Istorie şi interpretări

Pentru detalii, vezi: Interpretarea mecanicii cuantice.

Principiul Incertitudinii a fost dezvoltat ca răspuns la întrebarea: Cum măsurăm poziţia unui electron în jurul unui nucleu?

În vara lui 1922, Heisenberg s-a întâlnit cu Niels Bohr, părintele fondator al mecanicii cuantice, iar în Septembrie 1924 Heisenberg a mers laCopenhaga, unde Bohr îl invitase ca cercetător asociat şi mai târziu ca asistent. În 1925 Werner Heisenberg a enunţat principiile de bază a unei mecanici cuantice complete. În acest nou context, el a înlocuit variabilele comutative clasice cu unele necomutative. Lucrarea lui Heisenberg a marcat o radicală desprindere de tentativele anterioare de rezolvare a problemelor atomice cu ajutorul doar al cantităţilor observabile. El scria într-o scrisoare din 1925: "Toate eforturile mele se îndreaptă spre a ucide şi a înlocui conceptul de cale orbitală care nu poate fi observată." Decât să se lupte cu complexităţile orbitelor tridimensionale, Heisenberg s-a ocupat de mecanica unui sistem oscilant unidimensional, un oscilator nearmonic. Rezultatul a constat în formule în care numerele cuantice erau legate de frecvenţe şi intensităţi observabile ale radiaţiilor. În Martie 1926, lucrând în institutul lui Bohr, Heisenberg a formulat principiul incertiturinii punând astfel bazele a ceea ce a fost mai târziu cunoscut drept interpretarea Copenhaga a mecanicii cuantice.

Albert Einstein nu a fost mulţumit de principiul incertitudinii arătându-şi nemulţumirea prin celebra replică "Dumnezeu nu joacă zaruri" la care i-a fost replicat "Atunci nu-i mai spune lui Dumnezeu ce să facă cu ele"(această replică se referă bineînţeles la Teoria Relativităţii in care fiecare eveniment este cât de cât previzibil ex: zarul pare imprevizibil, dar dacă ştii densitatea aerului, viteza vântului, viteza zarului, masa zarului, viteza de rotaţie a lui, etc. poţi practic să spui cum va cădea zarul).

Nemulţumit, Einstein i-a provocat pe Niels Bohr şi Werner Heisenberg cu un celebru experiment imaginar (Vezi Dezbaterile Bohr-Einsteinpentru detalii): umplem o cutie cu material radioactiv care emite aleator radiaţie. Cutia are o trapă, care este deschisă şi imediat închisă de un ceas la un

moment exact de timp, astfel permiţând radiaţiei să iasă. Deci momentul este deja cunoscut cu precizie. Încă mai vrem să măsurăm variabila conjugată energie cu exactitate. Einstein a propus să se cântărească cutia înainte şi după. Echivalenţa dintre masă şi energie din Relativitatea restrânsă va permite determinarea cu precizie a cantităţii de energie care a ieşit din cutie. Bohr a răspuns după cum urmează: dacă iese energie, atunci cutia care rămâne mai uşoară se va ridica pe cântar. Aceasta modifică poziţia ceasului. Astfel ceasul deviază din sistemul de referinţă, şi prin relativitatea generalizată, măsurarea timpului va fi diferită de a noastră, conducând la o marjă de eroare inevitabilă. De fapt, o analiză detaliată arată că imprecizia este dată corect de relaţia lui Heisenberg.

Termenul *interpretarea Copenhaga a mecanicii cuantice* a fost adesea folosit ca sinonim pentru Principiul Incertitudinii al lui Heisenberg de către cei care credeau în destin şi determinism şi vedeau trăsăturile teoriei Bohr-Heisenberg ca o ameninţare. În cadrul interpretării Copenhaga, acceptată pe scară largă (dar nu universal) a mecanicii cuantice (nu a fost acceptată de Einstein şi alţi fizicieni ca Alfred Lande), principiul incertitudinii este înţeles astfel: la nivel elementar, universul fizic nu există într-o formă determnistă — el există ca o colecţie de probabilităţi, sau potenţiale. De exemplu, distribuţia de probabilitate produsă de milioane de fotoni trecând printr-o fantă de difracţie poate fi calculată cu ajutorul mecanicii cuantice, dar calea exactă a fiecărui foton nu poate fi prezisă prin nici o metodă cunoscută. Interpretarea Copenhaga susţine că nu poate fi prezisă prin *nicio* metodă, nici măcar cu instrumente de precizie teoretic infinită.

Această interpretare a fost pusă sub semnul întrebării de Einstein când a spus "Nu pot să cred că Dumnezeu ar alege să joace zaruri cu universul." Bohr, unul din autorii interpretării Copenhaga a răspuns, "Einstein, nu-i spune tu lui Dumnezeu ce să facă." Niels Bohr însuşi a recunoscut că mecanica cuantică şi principiul incertitudinii sunt contraintuitive când a afirmat: "Cine nu e şocat de teoria cuantică nu a înţeles nici un cuvânt din ea."

Dezbaterea de bază dintre Einstein şi Bohr (inclusiv Principiul Incertitudinii al lui Heisenberg) a fost bazată pe faptul că Einstein spunea în esenţă: "Bineînţeles că putem să ştim unde este un lucru; putem şti poziţia unei particule în mişcare dacă ştim fiecare detaliu posibil, şi astfel, prin extensie,

putem prezice unde se va duce." Bohr şi Heisenberg spuneau: "Putem şti doar poziţia probabilă a unei particule în mişcare, de aceea, prin extensie, putem şti destinaţia ei probabilă; nu putem şti cu certitudine unde se va duce."

Einstein era convins că această interpretare era greşită. Raţionamentul lui era că toate distribuţiile de probabilitate cunoscute până atunci reieşeau din evenimente deterministe. Distribuţia aruncării unei monede sau a zarurilor poate fi descrisă cu o distribuţie de probabilitate (50% cap, 50% pajură), dar asta *nu* înseamnă că mişcările lor fizice sunt imprevizibile. Mecanica clasică poate fi folosită pentru a calcula exact cum va ateriza fiecare monedă, dacă se cunosc forţele care acţionează. Iar distribuţia cap/pajură se va alinia cu distribuţia de probabilitate (date fiind forţe iniţiale aleatorii).

Einstein a presupus că, similar există variabile ascunse şi în mecanica cuantică, şi care stau la baza probabilităţilor observate şi că aceste variable, odată cunoscute, ar arăta că există ceea ce Einstein a numit "realism local," o descriere opusă principiului incertitudinii, dat fiind că toate obiectele trebuie să aibă deja proprietăţile lor înainte ca acestea să fie măsurate. Mare parte din secolul XX, au fost propuse multe astfel de teorii ale variabilelor ascunse, dar în 1964 John Bell a teoretizat inegalitatea Bell pentru a le contrazice, inegalitate care postula că deşi comportamentul unei particule individuale este aleator, el este corelat cu comportamentul altor particule. De aceea, dacă principiul incertitudinii este rezultatul unui proces determinist în care o particulă are *realism local*, trebuie să fie cazul că particule aflate la distanţe mari îşi transmit informaţii unele altora pentru a se asigura că corelările comportamentale între particule au loc. Interpretarea teoremei lui Bell opreşte în mod explicit orice teorie a variabilelor ascunse să fie adevărată, pentru că arată necesitatea unui sistem de a descrie corelaţii între obiecte. Implicaţia este că, dacă o variabilă locală ascunsă cauzează poziţionarea particulei 1, atunci o a doua variabilă locală ascunsă va fi responsabilă pentru poziţia particulei 2 — şi nu există un sistem care să facă o corelaţie între ele. Experimentele au demonstrat că o corelaţie există. În anii ce au urmat, teorema lui Bell a fost testată şi confirmată experimental de numeroase ori, iar aceste experimente sunt într-un fel cele mai clare confirmări experimentale ale mecanicii cuantice. Merită observat că teorema lui Bell se aplică doar la

teoriile variabilelor locale ascunse; teoriile variabilelor ascunse nelocale pot să existe (ceea ce unii, inclusiv Bell, cred că pot face legătura conceptuală între mecanica cuantică şi lumea observabilă).

Dacă părerea lui Einstein sau cea a lui Heisenberg este adevărată sau falsă nu este o problemă empirică simplă. Un criteriu prin care am putea judeca succesul unei teorii ştiinţifice este puterea de explicare pe care aceasta ne-o dă, şi până acum se pare că vederea lui Heisenberg a fost mai bună la a explica fenomenele subatomice.

Cultura populară

Principiul incertitudinii este enunţat în mai multe feluri în cultura populară, de exemplu, prin afirmaţia că este imposibil de ştiut exact în acelaşi timp şi unde se află un electron şi unde se duce. Este corect în linii mari, deşi nu se spune o parte importantă a principiului lui Heisenberg, care este limita cantitativă a incertitudinii. Heisenberg a spus că este imposibil să se determine simultan şi cu precizie nelimitată poziţia şi impulsul unei particule, dar datorită faptului că valoarea constantei lui Planck este atât de mică, Principiul Incertitudinii se poate aplica doar mişcării particulelor atomice. Totuşi, cultura adesea interpretează greşit acest lucru, spunând că este imposibil teoretic să se facă o măsurătoare perfect precisă.

Piesa lui Michael Frayn *Copenhagen* prezintă unele din procesele care au dus la formarea Principiului Incertitudinii. Piesa dramatizează întâlnirile dintre Werner Heisenberg şi Niels Bohr. Ea evidenţiază, de asemenea, discuţia asupra muncii depuse de ambii pentru realizarea bombei nucleare - Heisenberg pentru Germania şi Bohr pentru Statele Unite şi forţele aliate.

În filmul din 1997 *The Lost World: Jurassic Park*, haosticianul Ian Malcolm susţine că efortul "de a observa şi documenta, nu de a interacţiona" cu dinozaurii este o imposibilitate ştiinţifică datorită "Principiului Incertitudinii al lui Heisenberg, orice ai studia, îl schimbi." Aceasta e o confuzie cu efectul de observator, explicată mai sus.

În serialul de televiziune *Star Trek: The Next Generation*, transportatoarele fictive folosite pentru a "teleporta" personaje la diferite locaţii depăşeau limitările asupra eşantionării subiectului datorită principiului incertitudinii prin folosirea de "compensatoare Heisenberg." Când a fost întrebat, "Cum funcţionează compensatoarele Heisenberg?" de reporterii Time magazine pe 28 November 1994, Michael Okuda, consilier tehnic al Star Trek, a răspuns, "Foarte bine, mulţumesc."[1]

Într-un episod din serialul *Aqua Teen Hunger Force*, *Meatwad* (transformat temporar într-un geniu) încearcă să explice incorect Principiul Incertitudinii al lui Heisenberg lui *Frylock* pentru a explica nou găsita sa inteligenţă. "Principiul Incertitudinii al lui Heisenberg ne spune că la o curbură anume a

spaţiului, ştiinţa poate fi convertită în energie ... sau, şi asta este cheia, în materie."

Într-un episod din Stargate SG-1, Samantha Carter explică, folosindu-se de principiul incertitudinii, că viitorul nu este predeterminat, iar posibilităţile pot fi doar calculate.

Note

1. ^ „Reconfigure the Modulators!”. Time Magazine. November 28, 1994.

Bibliografie

- W. Heisenberg, "Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik", *Zeitschrift für Physik*, **43** 1927, pp. 172-198. English translation: J. A. Wheeler and H. Zurek, *Quantum Theory and Measurement* Princeton Univ. Press, 1983, pp. 62-84.
- L. I. Mandelshtam, I. E. Tamm "The uncertainty relation between energy and time in nonrelativistic quantum mechanics", Izv. Akad. Nauk SSSR (ser. fiz.) **9**, 122-128 (1945). English translation: J. Phys. (USSR) **9**, 249-254 (1945).
- G. Folland, A. Sitaram, "The Uncertainty Principle: A Mathematical Survey", *Journal of Fourier Analysis and Applications*, 1997 pp 207-238.
- G. Gabrielse, H. Dehmelt, "Observation of Inhibited Spontaneous Emission", *Physical Review Letters*, **55** (1985), 67-70.
- Viasat History:Biografia lui Einstein